

ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПАЯННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОГРАФІЇ

Я. Д. Мамчур¹, В. В. Іванова¹, Г. Є. Монастирський¹, Т. В. Мельниченко²

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Фізико-технічний інститут

²Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України

Анотація

В роботі представлені результати дослідження нероз'ємних паяних з'єднань на предмет виявлення підповерхневих локальних дефектів паяння. Запропонована вдосконалена конструкція установки для тепловізійного дослідження модельних зразків при нагріванні струмом.

Ключові слова: Термографія, SMD-компоненти, реакційне паяння

Вступ

Якість паяння SMD (Surface-Mounted Device) компонентів на друковану плату визначає надійність та довговічність електронних схем. Саме тому підбір надійного методу контролю якості з'єднання є важливою задачею, що стає особливо актуальним при розробці нових методів паяння, зокрема, реакційного паяння з використанням багатошарових фольг Al/Ni [1].

Такі дефекти, як перемички, непропаї ніжок, можуть бути виявлені за допомогою звичайного первинного огляду, але для виявлення непропаїв, каверн та ін. підповерхневих дефектів протяжної ділянки з'єднання необхідно застосування методу неруйнівного контролю, який забезпечить легкодоступну перевірку з'єднань за короткий час.

Актуальними є рентгенівські методи дослідження. Вони дозволяють виявити пустоти в паянні при BGA (Ball Grid Array) паянні елементів на ніжках, проте при паянні об'єктів з більшою площею з'єднання, необхідна зйомка під кутом до елемента, що зменшує точність отриманих результатів [2].

Ще одним методом пошуку дефектів паяння SMD компонентів є тривимірний аналіз форми з'єднання. Він дозволяє знаходити та класифікувати різні типи дефектів (неправильне розташування, перемички, надлишок припою або і повна відсутність контакту), проте вимагає алгоритмів машинного навчання, що робить його менш універсальним і загальнодоступним [3].

Існуюча практика застосування тепловізійного дослідження зазвичай обмежується пошуком дефектних контактів на самій платі. В роботі пропонується використовувати цей метод для дослідження якості нероз'ємних з'єднань в електричних схемах з метою виявлення дефектів з'єднань по всій площі контакту та аналізу ефективності тепловідводу від протяжних контактних ділянок.

1. Експериментальне устаткування та методологія проведення експерименту

Попередні дослідження [4],[5] виявили ряд недоліків методології та установки, які зумовлюють суттєві фактори впливу на достовірність результатів. Основними з них були: непридатність моделі і конфігурації зразків у вигляді елементів текстолітових плат через низьку теплопровідність текстоліту, що згладжує теплову картину, теплові завади від навколишнього середовища та теплові наводки від камери, а також важко передбачувана різниця коефіцієнтів випромінювання досліджуваного зразка і фону.

Модифікована установка (Рис.1а), з використанням тепловізора ThermoCAM E300 Flir System з 35мм об'єктивом дозволила позбутись теплових завад і забезпечити термоізоляцію, жорсткість конструкції, і відносно швидку заміну зразків.

Дослідження проводилось на модельних зразках, що являли собою дві навхрест спаяні мідні смужки товщиною 100 мкм, з площею перекивання 1x1 см² (Рис. 2). Паяння останніх проводилось традиційним способом SnPb припоєм та методом реакційного паяння із застосуванням багатошарових фольг. Різниця коефіцієнтів випромінювання зразка і фону була усунута за допомогою покриття зразка чорною матовою акриловою фарбою, для якої коефіцієнт випромінювання становить 0,92.

Конструкція є жорсткою, щоб забезпечити сталість поля зору тепловізора (а отже сталість ре-

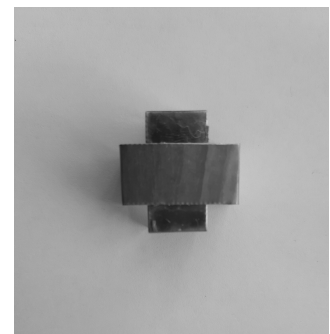
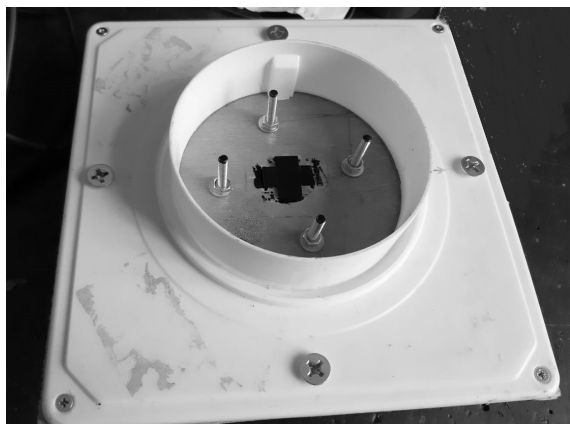


Рис. 2. Приклад досліджуваного зразка



(а) Загальний вигляд установки



(б) Жорстке кріплення зразка на підкладці в термоізолюваному корпусі

Рис. 1. Експериментальна установка

зультатів досліджень при зміні зразків) та високу швидкість заміни зразків.

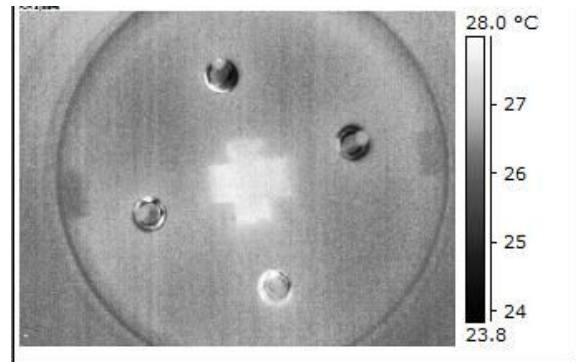
2. Результати та аналіз експерименту

Зразки з наперед невідомими способами паяння і типами припоїв та проміжних фольг досліджувались в ідентичних режимах, нагрівання проводилось струмом 8А. При цьому 12В подавалось на одну із смужок, а іншу було заземлено.

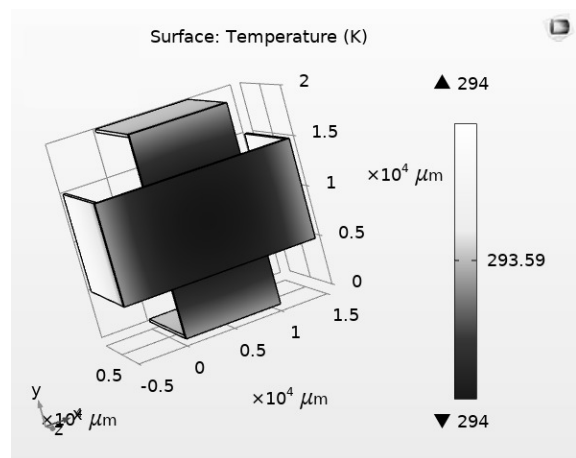
Температурні контрасти по полю зору по досягненню стабільної температури досягали 1,0– 2,5 °С.

В результаті досліджень встановлено, що ідеальне (бездефектне) з'єднання прогрівається рівномірно по всій площі контакту. Для порівняння було проведено моделювання даного з'єднання в пакеті COMSOL

Multiphysics. (Рис. 3а, 3б). Розподіл температури, отриманий в експерименті, відповідає отриманому під час моделювання.



(а) Тепловізійне зображення зразка без дефектів паяння



(б) Результат моделювання температурного розподілу для зразка без дефектів паяння

Рис. 3. Результати аналізу для зразка без дефектів

Проведена серія експериментів з різними зразками паяння дозволила встановити, що за наявності дефектів площею від 2-5 % загальної площі паяння, термографічний аналіз ефективно виявляє сигнал перевищення температури дефектних ділянок в порівнянні з бездефектними на фоні шумів.

Так, зразок на Рис. 4 (мідні смужки плаковані припоєм ПОС 60, з'єднані за допомогою реакційної фольги AN-285 плакованої Sn) з поздовжнім непропаєм мав температурні неоднорідності у вигляді прямокутної області, симетричної відносно середини області перекриття паяних пластин (Рис. 5а). В ході термографічного аналізу виявлено, що розподіл температур вздовж лінії (Li1), нормальної до границі даної пря-

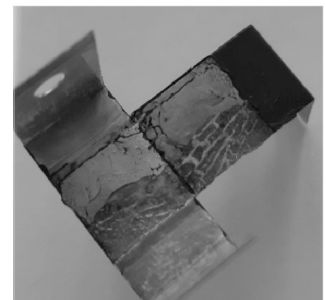
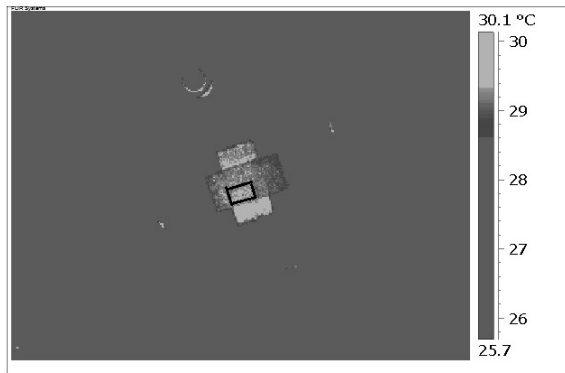
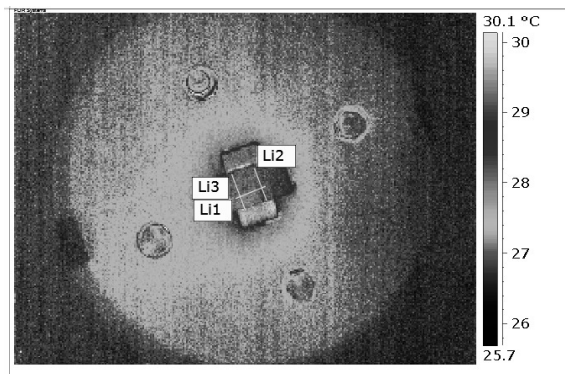


Рис. 4. Зразок з поздовжнім непропаєм

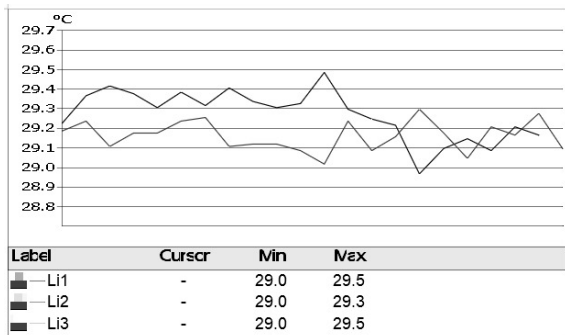
мокутної області, демонструє різкий стрибок в 0,25 °C, помітний на фоні шумів (Рис. 5в).



(а) Тепловізійне зображення зразка з виділеною прямокутною ділянкою перегріву



(б) Тепловізійне зображення зразка з виділеними лініями зйомки термопрофілю

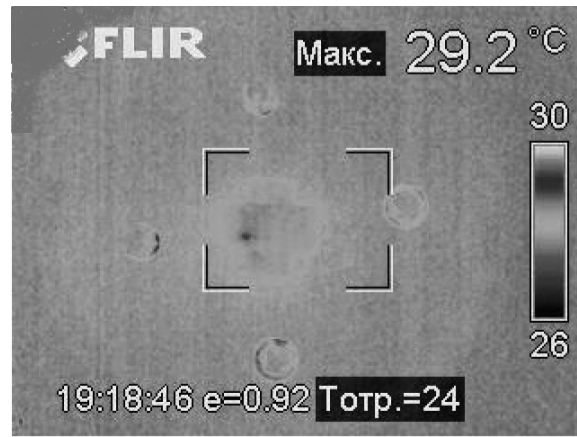


(в) Термопрофіль зразка

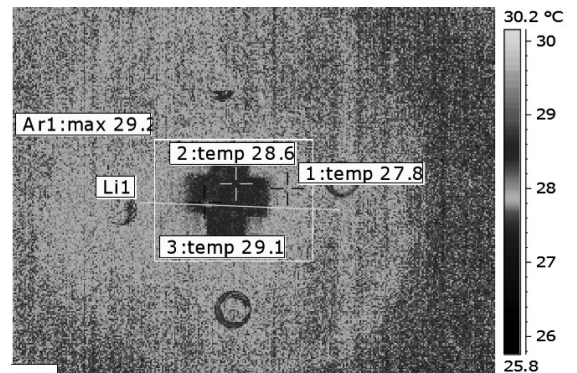
Рис. 5. Тепловізійний аналіз зразка з позовжним непропаєм

На Рис. 6а представлено зразок паяння з дефектними ділянками, виявленими в ході попереднього динамічного дослідження процесу нагріву в реальному часі із записом відповідного відео. Очевидно, що такий аналіз дозволяє зафіксувати існування дефекту попри теплове розплення через високу теплопровідність матеріалу зразка після стабілізації температур. На Рис. 6б і Рис. 6в представлено термографічний аналіз даного зразка

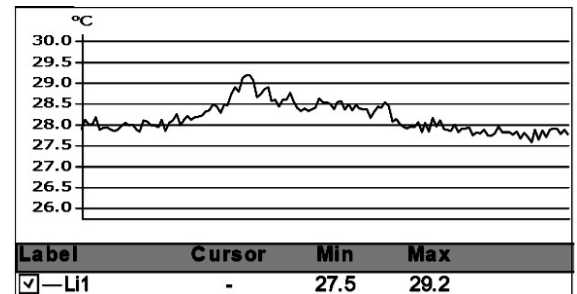
Перегрів області дефектного паяння досягав 1 °C. Після руйнування з'єднання (рис. 7) були виявлені дефекти паяння, локалізація яких відповідала темпе-



(а) Тепловізійне зображення зразка з локальним дефектом паяння



(б) Тепловізійне зображення зразка з точковими температурними маркерами та лінією перерізу для побудови термопрофілю



(в) Лінія термопрофілю

Рис. 6. Термографічний аналіз зразка з дефектною ділянкою неправильної форми

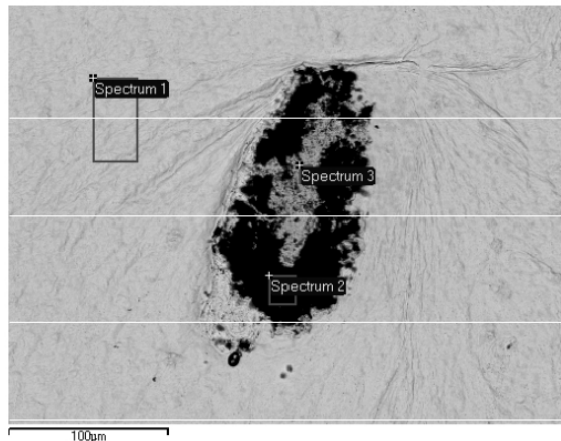


Рис. 7. Фото ділянки локального перегріву: поверхні нижньої (зліва) та верхньої (справа) мідних смужок паяного з'єднання

ратурним неоднорідностям на термограмах. Детальний аналіз вказаного зразка проводився за допомогою скануючої електронної мікроскопії. SEM-аналіз областей паяння (Рис. 8) показав, що це з'єднання

двох мідних пластин з покриттям індію, отримане традиційним методом паяння-нагріванням, без проміжної фольги Ni-Al. В місці, де спостерігається підвищення температури, виявлено частинки з вмістом кальцію, що погіршує контакт.

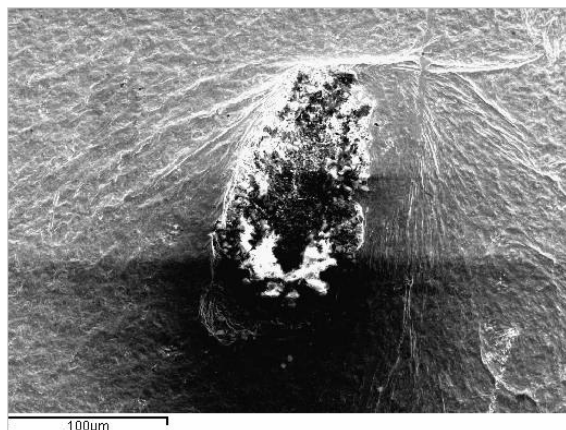
Аналіз рельєфу поверхонь (Рис. 8б), показав, що отримане з'єднання неоднорідне: наявні місця як з достатньо гладкою поверхнею, так і з зруйнованим шаром індію, тобто з кращим з'єднанням.



(а) Фото в режимі BEI

Weight%	O	Ca	Cu	In
Spectrum 1			2,34	97,66
Spectrum 2	58,89	37,6	1,81	1,7
Spectrum 3		2,02	39,53	58,45

(б) Аналіз елементного складу в масових частках



(в) Фото в режимі SEI.

Рис. 8. SEM-аналіз ділянки локального перегріву паяного з'єднання

Висновки

Термографічний аналіз (з температурним розділенням не гірше 0,1 °C) як метод неруйнівного контролю

лю протяжних областей паяння може забезпечити достовірне виявлення дефектів паяння за наступних умов:

- забезпечення достатньої термоізоляції для уникнення теплових завад від навколишнього середовища та самої тепловізійної камери;
- схемного та конструктивного забезпечення жорсткого монтажу зразка для досягнення стабільності відеокартинки досліджуваного теплового поля;
- уникнення хибних температурних контрастів, викликаних важко передбачуваною різницею коефіцієнтів випромінювання досліджуваних ділянок, шляхом покриття їх чорною матовою фарбою.

Було також встановлено необхідність та переваги попереднього динамічного аналізу зразків в процесі електричного нагріву та зняття відеоданих з тепловізійної камери в реальному часі для ефективного виявлення ділянок температурних неоднорідностей.

Перелік використаних джерел

1. I. Lendiel, A. Ustinov, T. Melnichenko, G. Monastyrsky, V. Ivanova, T. Zakusylo Structure and properties of soldered joints obtained by the shs reaction initiated in a Ni/Al multilayer foil // 9th International conference of young scientists on welding and related technologies. — 2017. — С. 299–304
2. Борисенков С., Вотинцев А., Рот. Х. Контроль качества: неразрушающий контроль паяных соединений с применением рентгеновского излучения. — Компоненты и технологии. — 2003. — № 2.
3. T. Honda, Y. Matsuyama, H. Yamamura Automated Visual Inspection Algorithm for Solder Joint of Surface Mount Devices Based on Three-Dimensional Shape Analysis — IAPR Workshop on Machine Vision Application.. — 1996. — № 12. С. 261–266
4. Косячкін Є. М., Іванова В. В., Олефір Л. А., Кузьменко Д. М. Температурний режим роботи світлодіодів та перспективні методи монтажу для локального прогріву зони з'єднання. — XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. — 2016. — С. 57–59
5. Очкан К. О., Іванова В. В., Монастирський Г. Є., Лендел І. В. Термографічне дослідження паяних з'єднань — XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. — 2017. — С. 55–57